

## PENGARUH TINGGI REAKTOR FLOTASI UDARA TERLARUT TERHADAP EFISIENSI PENYISIHAN MINYAK

Hery Budianto<sup>\*)</sup>, Suprihanto Notodarmojo<sup>\*)</sup>, Benjamin Soenarko<sup>\*\*)</sup> dan Wisjnuprpto<sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup>Program Studi Teknik Lingkungan FTSL ITB

<sup>\*\*)</sup>Program Studi Teknik Fisika FTI ITB

### ABSTRACT

*Dissolved Air Flotation System had widely used in many waste treatment application including oily wastewater from oil refinery plant, although there only a few development in a model that reviewed the effect of the reactor height which recently conducted by Aurelle. This research used flotation rate equation which developed by Aurelle in order to evaluate the effect of the reactor height. The result showed that oil removal efficiency in the reactor with 20, 50 and 80 cm of height varies from 46-89%, 47-96% and 53-94% respectively. Maximum removal efficiency of 95.65% gained at 60 psi of pressure, recirculation factor of 0.75 and reactor height of 50 cm. Removal efficiency in the reactor without recirculation at 60 psi of pressure, and 20, 50 and 80 cm of height varies from 74.24; 83.6 and 84.27% respectively. Adhesion and interception average efficiency in the reactor with 20, 50 and 80 cm of height are  $7.55 \times 10^{-2}$ ,  $4.12 \times 10^{-2}$  and  $2.08 \times 10^{-2}$ ; and at 60 psi of pressure are  $6.53 \times 10^{-2}$ ,  $2.62 \times 10^{-2}$  and  $1.59 \times 10^{-2}$  respectively. The results indicate increasing in the reactor height made decreasing in the adhesion and interception efficiency.*

**Keywords :** reactor height, flotation rate, adhesion, interception

### ABSTRAK.

Sistem flotasi udara terlarut telah banyak digunakan untuk pengolahan limbah, termasuk limbah minyak-air dari industri kilang minyak, tetapi pengembangan model yang meninjau pengaruh tinggi reaktor baru dilakukan oleh Aurelle. Penelitian ini menggunakan persamaan laju flotasi yang dikembangkan Aurelle untuk melihat pengaruh dari tinggi reaktor. Penelitian ini mendapatkan efisiensi penyisihan minyak dengan tinggi reaktor 20, 50 dan 80 cm, masing-masing berada pada range 46–89%, 47-96% dan 53–94%. Efisiensi maksimal diperoleh pada tekanan 60 psi, faktor resirkulasi 0,75 dan tinggi reaktor 50 cm sebesar 95,65%. Efisiensi tanpa resirkulasi pada tekanan 60 psi dan tinggi reaktor 20, 50 dan 80 cm masing-masing adalah 74,24; 83,6 dan 84,27%. Efisiensi adhesi dan intersepsi rerata reaktor pada tinggi 20, 50 dan 80 cm adalah  $7,55 \cdot 10^{-2}$ ,  $4,12 \cdot 10^{-2}$  dan  $2,08 \cdot 10^{-2}$ ; pada tekanan 60 psi adalah  $6,53 \cdot 10^{-2}$ ,  $2,62 \cdot 10^{-2}$  dan  $1,59 \cdot 10^{-2}$ . Semakin tinggi reaktor efisiensi adhesi dan intersepsi semakin turun.

**Kata kunci :** tinggi reaktor, laju flotasi, adhesi, intersepsi.



## PENDAHULUAN

Flotasi dikembangkan pertama kali untuk menyisahkan partikel halus dari minyak oleh Hockley pada tahun 1892 (Rubinstein,1995). Teknologi ini paling banyak digunakan pada industri pertambangan. Sekarang ini sekitar dua juta ton per tahun bahan tambang dihasilkan dengan flotasi (Schulze, 1984). Flotasi pada bahan tambang mempergunakan gelembung udara berdiameter besar (makroflotasi) yang dihasilkan secara mekanikal. Aplikasi flotasi pada teknik lingkungan umumnya menggunakan proses mikroflotasi, seperti pada teknologi pemurnian air, pengolahan limbah industri dan domestik, dan lumpur dari reaktor (Loewenberg, 1994), serta limbah minyak-air (Aurelle, 1991). Pengembangan model matematik untuk sistem flotasi telah banyak dilakukan tetapi yang meninjau pengaruh tinggi reaktor baru dilakukan oleh Aurelle. Penelitian ini menggunakan persamaan laju flotasi yang dikembangkan Aurelle untuk melihat pengaruh dari tinggi reaktor.

Pada proses mikroflotasi gelembung dihasilkan secara elektrolitik (diameter  $\sim 20\text{-}30\ \mu\text{m}$ ) atau dengan presipitasi dari udara terlarut (diameter  $\sim 40\text{-}120\ \mu\text{m}$ ) untuk menangkap partikulat mikron dan submikron, dan droplet dari suspensi dan emulsi, biasanya tanpa bantuan reagent flotasi. Ukuran gelembung

yang kecil ini memberikan kinerja flotasi yang lebih efektif (Schulze, 1984).

Proses mikroflotasi yang menggunakan gelembung udara hasil dari presipitasi udara terlarut disebut juga flotasi udara terlarut (*dissolved-air flotation – DAF*). Penelitian ini menggunakan proses DAF yang menjenuhkan semua limbah minyak-air, tanpa air terdispersi di tangki tekan pada tekanan yang tinggi. Kemudian limbah terdispersi tersebut dilepaskan ke dalam tangki flotasi sehingga pengurangan tekanan menuju tekanan atmosfer yang menyebabkan udara terpresipitasi ke dalam larutan sebagai gelembung-gelembung kecil.

Berdasarkan studi pustaka, faktor-faktor yang mempengaruhi proses flotasi udara terlarut pada penyisihan minyak antara lain,

- Kejenuhan air pendispersi

Jumlah udara yang terlarut di dalam air dapat dihitung berdasarkan persamaan Henry:

$$C_s = k_H * P \dots \dots \dots (1)$$

dengan :  $C_s$  adalah konsentrasi  
kejenuhan gas di  
dalam air ( $\text{g/m}^3$ )  
 $k_H$  adalah koefisien  
Henry ( $\text{g/m}^3 \cdot \text{Pa}$ )  
 $P$  adalah tekanan gas  
parisal (Pa)

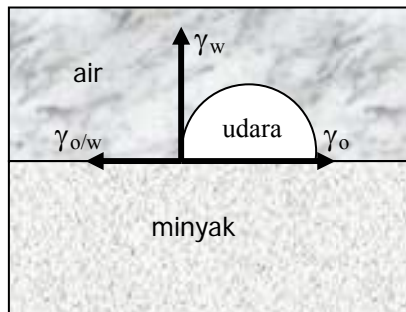
Koefisien Henry tergantung pada suhu dan jenis gas.

Selain tekanan, volume udara yang dapat terpresipitasi dari volume air dispersi juga tergantung pada,

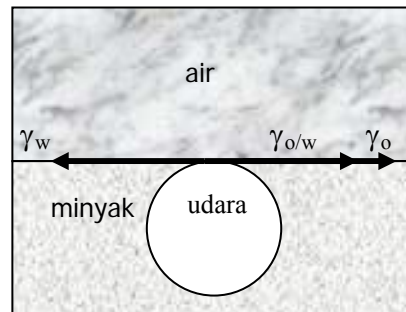
- efisiensi kejenuhan, antara lain tergantung pada jenis tangki penjenh yang digunakan
- komposisi udara di dalam tangki penjenh. Karena kenaikan tekanan parsial nitrogen di udara secara teoritis dapat mengurangi kelarutan sekitar 9%.

- efisiensi udara yang dilepaskan (de Rijk, 1993).

- Kesetimbangan konfigurasi antar muka gelembung udara dan air/minyak  
Mekanisme yang mungkin terjadi pada keadaan ini adalah konfigurasi transitori dan konfigurasi stabil (Gambar 1a dan 1b).



Gambar 1a. Konfigurasi transisi



Gambar 1b. Konfigurasi stabil

(Sumber Aurelle, 1991)

Pada konfigurasi transitori gelembung berada di dalam fasa air sesudah berinteraksi dengan fasa minyak. Sudut

kontak yang terjadi adalah  $90^\circ$ . Sedangkan pada konfigurasi stabil gelembung udara melewati bidang antara muka dan

terlokalisasi dalam fasa minyak, sudut kontak yang terjadi pada fasa ini adalah  $180^0$ . Besaran sudut kontak ini dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan Young, yang didasarkan pada perbedaan tegangan permukaan dan tegangan antara muka pada kedua fasa tersebut. Berdasarkan percobaan Aurelle dkk. (1991) jumlah energi bebas permukaan dari gelembung udara yang berada di dalam air besarnya sama dengan hasil kali luas permukaan dan tegangan permukaan air (72 dyne/cm). Sedangkan energi bebas fasa minyak besarnya merupakan hasil kali luas permukaan droplet minyak dengan tegangan permukaan minyak (29 dyne/cm). Energi ini menjadi lebih inferior dalam fasa minyak dibandingkan pada fasa air. Oleh sebab itu gelembung udara akan selalu melewati bidang antar muka minyak-air dan terlokalisasi dalam fasa minyak. Sesudah interaaksi gelembung udara dengan minyak akan terjadi terbentuk lapisan minyak pada antar muka gelembung udara-air.

Dari hasil analisa fisika-kimia antara muka emulsi menunjukkan bahwa gelembung udara yang menempel pada droplet minyak berperilaku seperti "parasut yang bergerak ke atas" (*rising parachutes*). Pergerakan ini mengantarkan minyak ke bagian atas kolom flotasi. Pada bagian atas kolom gelembung udara akan dilapisi oleh film minyak. Ketebalan lapisan ini tergantung

pada jumlah efisiensi impak antara gelembung udara dengan droplet minyak. Gelembung udara yang dilapisi film minyak ini tidak mudah bergerak bebas dan membentuk formasi busa (*froth*) di permukaan kolom flotasi (Aurelle dkk., 1991)

- Ukuran gelembung

Ukuran gelembung udara yang dihasilkan menurut de Rijk (1993) harus kecil ( $< 100\text{--}120\mu\text{m}$ ) karena:

- gelembung udara yang kecil memiliki sudut kontak yang lebih kecil dibandingkan dengan gelembung udara yang lebih besar (Hanisch, 1959 dalam de Rijk, 1993).
- kemungkinan tumbukan (*collision*) dan adhesi antara gelembung udara dan partikel akan meningkat sesuai dengan jumlah gelembung udara yang dihasilkan, yang tergantung pada ukuran gelembung (Flint dan Howarth, 1971; Reay dan Ratcliff, 1973 dalam de Rijk, 1993). Secara kuantitas ukuran gelembung harus sekecil mungkin untuk meningkatkan konsentrasi gelembung.
- Gelembung kecil memiliki kecepatan naik yang lebih rendah dibandingkan dengan gelembung yang besar, sehingga waktu tinggal dalam reaktor flotasi menjadi lebih lama, dan berarti kemungkinan tumbukan antara gelembung dan partikel juga meningkat

- kecepatan naik dari gelembung yang besar ( $> 2\text{mm}$ ) memiliki gaya geser yang terlalu besar pada agglomerat gelembung-flok dan menyebabkan flok menjadi pecah (Jedele, 1984 dalam de Rijk, 1993).

• Jenis dan ukuran droplet minyak

Hidrokarbon atau minyak dapat bercampur dengan air dengan empat cara (Aurette, 1991)

- Hidrokarbon terlarut  
Hidrokarbon dengan polaritas besar dan berat molekul rendah, yaitu yang memiliki volatilitas tinggi akan memiliki tingkat kelarutan paling tinggi di dalam air. Benzene (*cyclic hydrocarbons*  $C_6$ ) memiliki tingkat kelarutan 1650 mg/l dan hexyne-1 (*straight chain hydrocarbons*  $C_6$ ) tingkat kelarutan dalam air 360 mg/l.
- Hidrokarbon berada dalam bentuk emulsi tanpa adanya surfaktan  
Emulsi ini terdiri dari dua jenis, yaitu emulsi primer (diameter droplet  $> 100\mu\text{m}$ ) dan emulsi sekunder (diameter droplet  $< 20\mu\text{m}$ ).
- Hidrokarbon berada dalam bentuk emulsi dengan adanya surfaktan  
Surfaktan akan mengakibatkan tegangan antar muka minyak-air menurun sesuai dengan meningkatnya konsentrasi surfaktan, sehingga emulsi akan lebih mudah menyebar.

Kosurfaktan membentuk mikroemulsi dengan diameter droplet antara 100-600 Å°.

- Hidrokarbon berada dalam bentuk lapisan (*layer* atau *film*)  
Polutan hidrokarbon dalam bentuk ini paling mudah dideteksi, karena efek pelangi yang ditimbulkannya.

Laju flotasi ditinjau dengan mempergunakan persamaan Aurette:

$$1 - \frac{C_s}{C_o} = 1 - e^{-\frac{3}{2} \cdot \frac{\Phi}{A_o V_o} \cdot \alpha \cdot \eta_T \cdot \frac{H}{d_b}} \dots\dots\dots (2)$$

dengan,  $\Phi$  : debit udara

$V_o$ : kecepatan emulsi di dalam reaktor flotasi

$A_o$ : luas potongan melintang reaktor

$\eta_T$  faktor efisiensi adhesi

$\alpha$  faktor efisiensi tumbukan, yang merupakan jumlah dari efisiensi sedimentasi, intersepsi langsung dan difusi.

$$s = \frac{d_b^2 \Delta \rho}{18 \eta} \dots\dots\dots (1)$$

$d_b$  tinggi reaktor

$d_b$  : diameter gelembung

Persamaan Aurette ini diturunkan berdasarkan proses *coalescence* droplet minyak dengan mempergunakan bahan yang bersifat *oleophilic*. Terlihat bahwa

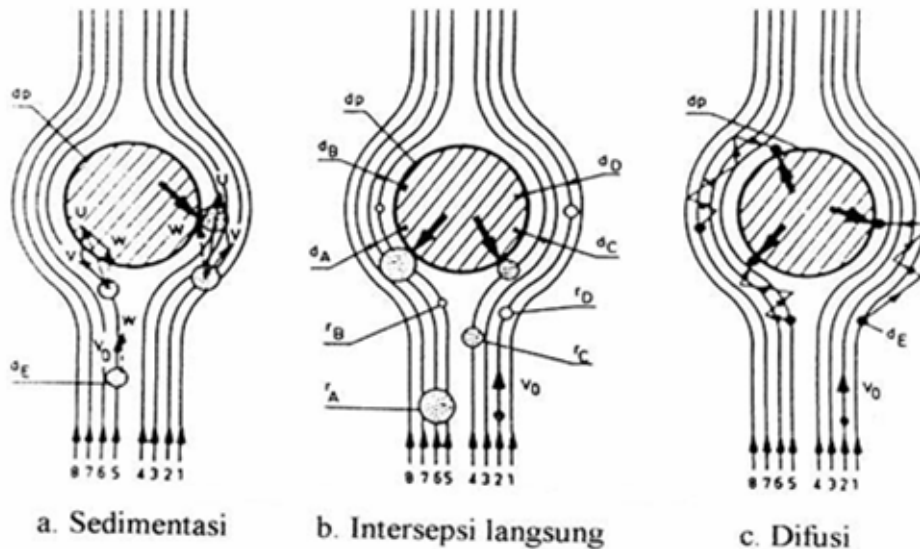
PENGARUH TINGGI REAKTOR FLOTASI UDARA TERLARUT  
(Hery, Suprihanto, et.al)

terdapat keserupaan antara proses *coalescence* dan flotasi. Pada *coalescence* terdapat interaksi antara kolektor solid dan mikrodroplet minyak. Pada flotasi terdapat jenis interaksi yang sama, hanya perbedaannya bahwa kolektor pada flotasi adalah gelembung udara.

Metode perhitungan yang sama dapat digunakan untuk menentukan efisiensi unit flotasi. Penelitian yang dilakukan di Laboratorium kami (Aurelle - penulis.) didapatkan bahwa konsentrasi minyak di emulsi pada inlet reaktor flotasi udara

terlarut ( $C_o$ ), dihubungkan dengan outlet ( $C_s$ ) diberikan oleh persamaan 2 yang serupa dengan persamaan untuk *coalescence* (Aurelle, 1991).

Konsekuensinya model transport yang digunakan pada *coalescence* untuk menjelaskan dan menghitung jumlah interaksi antara kolektor dan droplet, dapat ditranspose ke proses flotasi (Aurelle, 1991). Model transport yang terjadi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Model transportasi untuk droplet hidrokarbon ke media *coalescence*.

Sumber: Roques dan Aurelle, 1991

Jumlah udara yang dilepaskan secara teoritis dari larutan ketika tekanan dikurangi mencapai 1 atm, menurut Eckenfelder, Jr. (1989), dapat dihitung dengan persamaan:

$$s = s_a \left( \frac{fP}{P_a} - 1 \right) \dots\dots\dots(4)$$

dengan,  $s$  adalah jumlah udara yang dilepaskan pada tekanan atmosfer per satuan volume pada kejenuhan 100 persen,  $\text{cm}^3/\text{l}$ ;  $s_a$  adalah kejenuhan udara pada tekanan atmosfer,  $\text{cm}^3/\text{l}$ ;  $P$  dan  $P_a$  masing-masing adalah tekanan mutlak dan tekanan atmosfer, dan  $f$  adalah fraksi kejenuhan di dalam tangki retensi yang bernilai antara 0,8 – 0,9. Menurut Metcalf & Eddy (1991) untuk limbah *solid sludge*, faktor  $f$  (fraksi udara terlarut pada tekanan  $P$ ) adalah 0,5.

Karena range nilai  $f$  yang cukup besar diantara dua peneliti tersebut, maka perlu dicari nilai  $f$  untuk tangki tekan dan limbah minyak-air yang dipergunakan dalam penelitian ini, dengan menggunakan persamaan Bernoulli didapatkan (Finch dan Dobby, 1990),

$$\varepsilon_g = 1 - \left[ \frac{\rho_w}{\rho_{sl}} \left( 1 - \frac{\Delta h}{\Delta L} \right) \right] \dots\dots\dots(5)$$

Penelitian yang dilakukan oleh Budi Utomo (1994) dengan mempergunakan reaktor flotasi udara terlarut yang sama dengan penelitian yang dilakukan sekarang, untuk penyisihan minyak-lemak air buangan industri kelapa sawit didapatkan kondisi optimum pada tinggi *baffle* 27,5 cm, tekanan ( $P$ ) 4,5  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (64,01 psi), nilai perbandingan jumlah udara terhadap padatan ( $A/S$ ) 0,08, faktor resirkulasi ( $R/Q$ ) 150% dan waktu tinggal 54 menit diperoleh efisiensi penyisihan minyak-lemak 40,32%.

## METODOLOGI

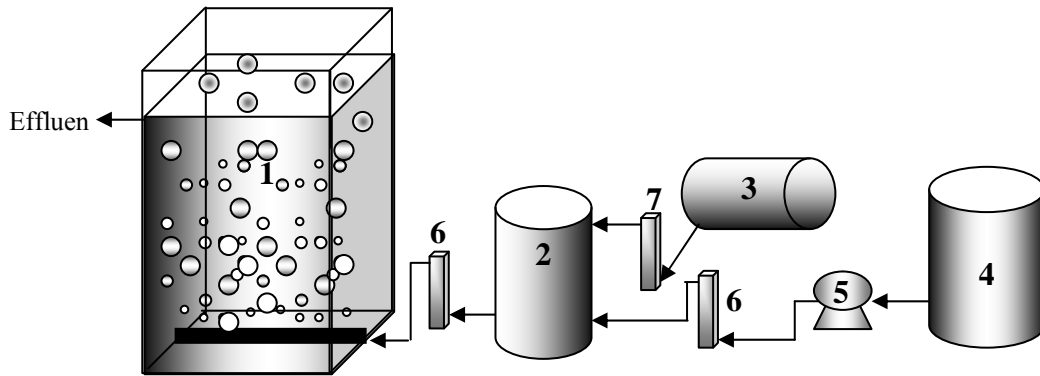
Sistem flotasi udara terlarut yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah kolom flotasi dengan dimensi (60 x 15 x 94) dan volume 84,6 liter. Tangki penjenuh udara berukuran (0,25 x  $\pi$  x 20<sup>2</sup> x 39) dan volume 12,2 liter. Sedangkan *sparger* mempunyai diameter ½” , panjang 37,5 cm dan lubang sebanyak 34 buah (diameter 0,5 cm) jarak antar pusat lubang 2 cm kecuali di ujung-ujung *sparger* yang berjarak 0,75 cm terhadap dinding



PENGARUH TINGGI REAKTOR FLOTASI UDARA TERLARUT  
(Hery, Suprihanto, et.al)

reaktor. Alat ukur yang dipergunakan adalah alat ukur debit air 2 buah dan debit udara 1 buah (Gambar 3). Alat

ukur tersebut dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan.



Gambar 3. Reaktor flotasi udara terlarut

Keterangan:

1. Kolom flotasi
2. Tangki tekan
3. Kompresor udara
4. Tangki umpan
5. Pompa
6. Alat ukur debit air
7. Alat ukur debit udara

variasi tinggi reaktor ( $H$ ) 20, 50 dan 80 cm, dan faktor resirkulasi ( $R/Q$ ) adalah 0; 0,25; 0,50 dan 0,75. Besarnya debit limbah ( $Q_0$ ) dan udara ( $Q_1$ ) adalah 1 liter/menit. Tinggi *baffle* yang digunakan pada percobaan ini adalah 12,5 cm.

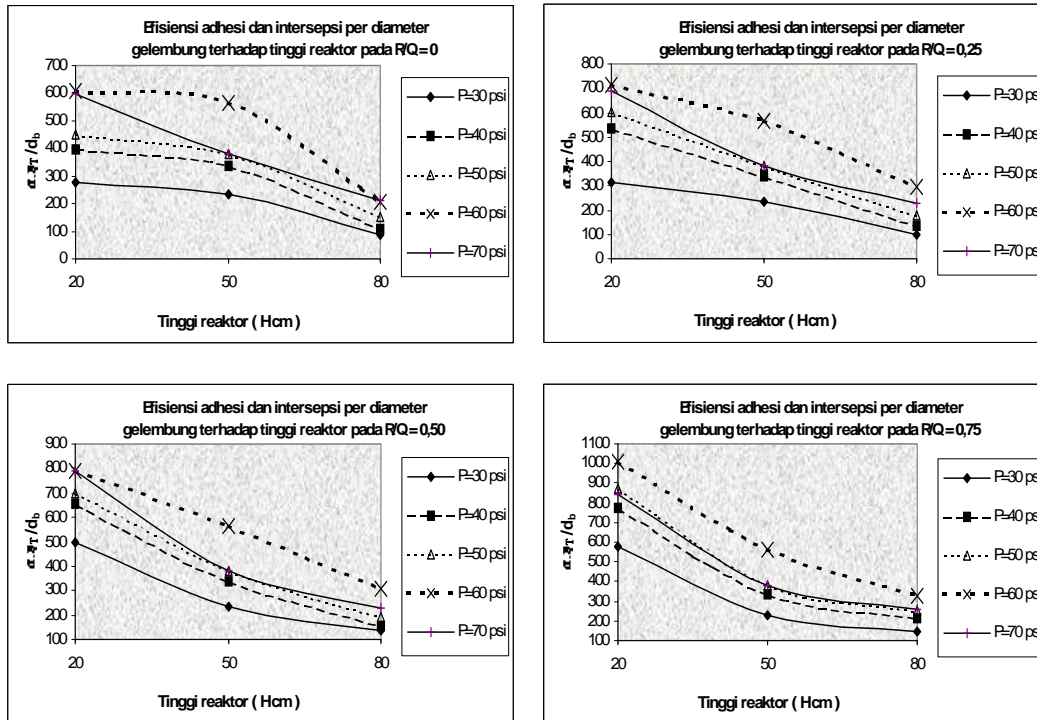
Limbah yang dipergunakan berasal dari salah satu kilang minyak di Jawa Barat.

Tekanan ( $P$ ) yang dipergunakan pada penelitian ini adalah 30, 40, 50, 60 dan 70 psi,

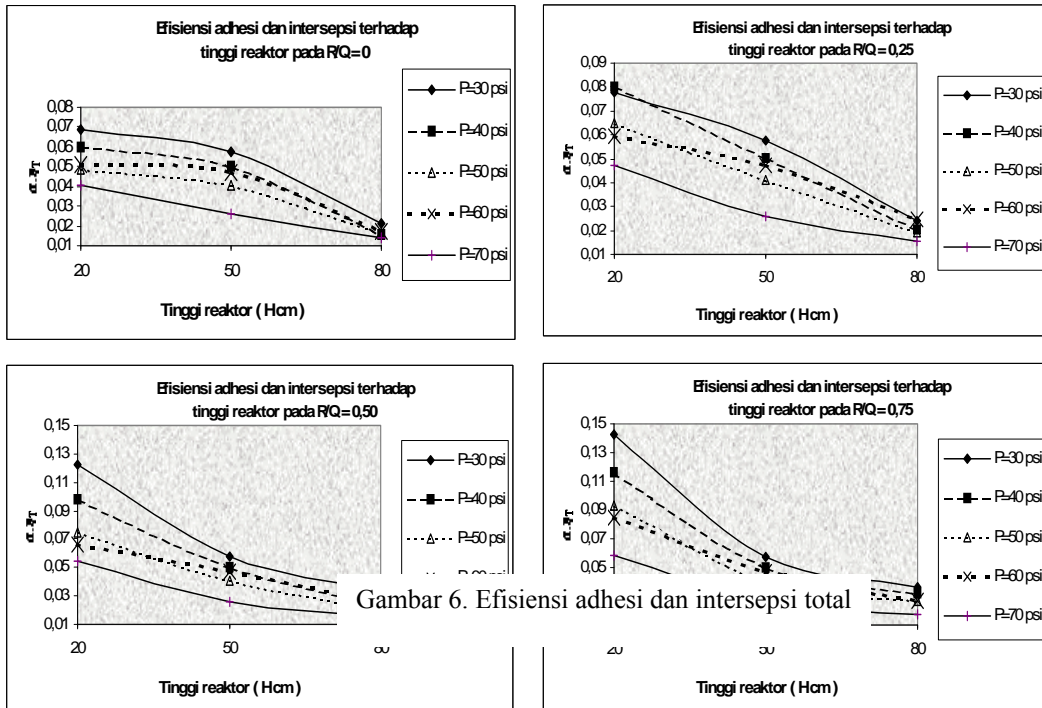
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi penyisihan minyak berada pada range 46,01 - 95,65%. Efisiensi terbesar didapatkan pada tekanan 60 psi, dan tinggi reaktor 50 cm dan faktor resirkulasi 0,75%. Untuk kondisi yang sama dengan faktor resirkulasi 0, 0,25 dan 0,50% didapatkan besarnya efisiensi 83,6,

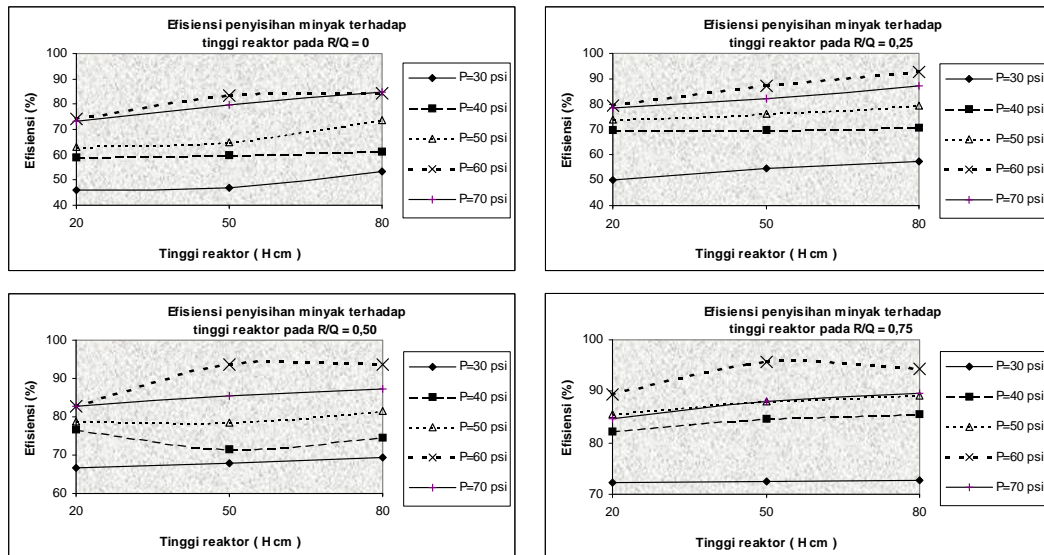
87,1 dan 93,62%. Sedangkan kondisi yang paling optimal, yaitu pada faktor resirkulasi yang kecil didapatkan pada tinggi reaktor 80 cm dan tekanan 60 psi. Untuk faktor resirkulasi 0, 0,25, 0,50 dan 0,75% didapatkan efisiensi sebesar 84,27, 92,90, 93,50 dan 94,38 (Gambar 4).



Gambar 4. Efisiensi penyisihan minyak terhadap tinggi reaktor



Gambar 5. Efisiensi adhesi dan intersepsi per diameter gelembung



Gambar 6 menunjukkan efisiensi adhesi dan intersepsi total semakin besar untuk tekanan yang semakin kecil. Pada tekanan yang semakin besar, diameter gelembung yang dihitung berdasarkan tegangan kapiler akan semakin besar, sehingga dengan semakin besar diameter maka efisiensi intersepsi akan semakin kecil terutama untuk intersepsi langsung dan difusi. Hal ini menunjukkan bahwa dengan semakin besar gelembung udara efisiensi adhesi semakin besar.

Tekanan 60 psi adalah tekanan paling optimum karena pada tekanan yang lebih besar efisiensi cenderung menurun atau tetap. Meskipun pada tekanan yang lebih besar gelembung yang terbentuk akan lebih kecil, sehingga jumlah gelembung lebih banyak dan kecepatan naik gelembung menjadi semakin kecil, hal ini berarti akan meningkatkan tumbukan. Tetapi berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa efisiensi adhesi dan intersepsi total, yang merupakan jumlah dari efisiensi sedimentasi, intersepsi langsung dan difusi, menjadi turun pada tekanan 70 psi.

Tekanan optimal yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebesar 60 psi. Peneliti yang lain mendapatkan tekanan di antara 40–60 psi (Tabel 1). Tekanan yang besar dibutuhkan untuk menghasilkan gelembung yang sekecil mungkin. Selain tekanan faktor lain yang cukup berpengaruh terhadap diameter gelembung adalah *nozzle*, *sparger* dan faktor retensi tangki tekan. Faktor resistensi tangki tekan yang diperoleh pada penelitian ini, untuk tekanan 30, 40, 50, 60 dan 70 psi masing-masing adalah 0,33; 0,39; 0,45; 0,51 dan 0,78.

Menurut Kormanik, 1974 gelembung udara yang terbentuk pada ukuran 40 psig adalah ukuran yang optimum dan penambahan A/S hingga tekanan operasi 70-80 psig tidak memberikan keuntungan karena gelembung yang terbentuk menghasilkan ukuran yang tidak diinginkan dan mengganggu proses *thickening*. Pada kondisi ini gelembung yang terbentuk melewati *sludge* dengan gaya akan yang lebih besar dan lebih kompak.

Tabel 1. Tekanan Optimum Tangki Penjenuh

Peneliti	Limbah	Tekanan (psi)
Moursy & Abo, 1982	Minyak-air	58,8
Utomo, B., 1994	Minyak kelapa sawit	64
Eckenfelder, 1989	Suspended solid	50-70
Vrablik dalam Eckenfelder, 1989	Minyak dan lemak	20-50
Hurwitz & Katz dalam Eckenfelder	lumpur aktif, 91% padat	40
Manjunath, 2000	air limbah rumah potong hewan	57-100
Chung, 2000	Pengolahan air minum	64

Ponasse dkk.,1988 dengan mempergunakan teknik sinematografi mikro untuk memvisualisasikan pembentukan gelembung udara pada reaktor DAF; dan pada tekanan 4 bar (58,8 psi) dan dengan memvariasikan sudut pelepasan (30, 50, 80, 180<sup>0</sup>) dan bahan (*hydrophilic*, *hydrophobic*) nozzle didapatkan gelembung dengan diameter >500 $\mu$ m memiliki fraksi yang berbeda (lebih besar) dengan gelembung yang berdiameter <120 $\mu$ m, tergantung pada lokasi nozzle dalam reaktor dan bahan yang dipakai, diameter gelembung maksimum yang didapatkan adalah 5880  $\mu$ m.

Sedangkan Lundh dkk., 2000 mempergunakan tekanan sebesar 5 bar (73,5 psi) untuk mendapatkan ukuran gelembung sebesar 40 $\mu$ m. Dan de Rijk dkk., 1994 menyatakan bahwa peningkatan tekanan penjenuhan akan menghasilkan formasi gelembung yang lebih kecil, sedangkan untuk nilai tekanan penjenuhan yang rendah (< 5 bar) untuk debit aliran yang lebih besar akan menstimulus formasi gelembung yang kecil, pada tekanan yang lebih besar lagi debit aliran tidak berpengaruh.

## KESIMPULAN

Efisiensi penyisihan minyak dengan tinggi reaktor 20, 50 dan 80 cm, masing –masing berada pada range 46–89%, 47–96% dan 53–94%.

Efisiensi maksimal diperoleh pada tekanan 60 psi, faktor resirkulasi 0,75 dan tinggi reaktor 50 cm sebesar 95,65%.

Efisiensi tanpa resirkulasi pada tekanan 60 psi dan tinggi reaktor 20, 50 dan 80 cm masing-masing adalah 74,24; 83,6 dan 84,27%.

Efisiensi adhesi dan intersepsi rerata reaktor pada tinggi 20, 50 dan 80 cm adalah  $7,55 \cdot 10^{-2}$ ,  $4,12 \cdot 10^{-2}$  dan  $2,08 \cdot 10^{-2}$ ; pada tekanan 60 psi adalah  $6,53 \cdot 10^{-2}$ ,  $2,62 \cdot 10^{-2}$  dan  $1,59 \cdot 10^{-2}$ . Semakin tinggi reaktor efisiensi adhesi dan intersepsi semakin turun.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aurelle, Y., 1991, *Treatment of Oil-Containing Wastewater*, hal. 69-70; 79-81, Dept. of Sanitary Eng., Chulalongkorn University, Thailand.
- Chung, Y., Choi, Y. C., Choi, Y. H. dan Kang, H. S., 2000, *A Demonstration Scalling-up of The Dissolved Air Flotation*, Water Research, 34, 817-824.
- de Rijk, S. E., van der Graaf, J. H. J. M. dan den Blanken, J. G., 1994, *Bubble Size in Flotation Thickening*, Water Research, 28, hal. 465-473.
- Dick, R.M., 1994, *Recycling of Metalworking Fluids*, dalam buku *Metalworking Fluids*, editor Byers, J.P., Marcel Dekker, Inc., New York.
- Dupre, V., Ponasse, M., Aurelle, Y. dan Secq, A., 1998, *Bubble Formation by Water Release in Nozzles – I. Mechanisms*, Water Research, 32, hal. 2491-2497.
- Eckenfelder, Jr., 1989, *Industrial Water Pollution Control*, 2<sup>nd</sup> ed., Mc. Graw Hill, New York.
- Finch, J. A. dan Dobby, G. S., 1990, *Column Flotation*, Pergamon Press, Toronto.
- Kormanik, R. I., 1974, *Factor Influencing Batch Flotation Tests*, Jour. Water Pollution Control, hal. 2056.
- Lundh, M., Jonsson, L dan Dahlquist, J., 2000, *Experimental Studies of The Fluid Dynamics in The Separation Zone in Dissolved Air Flotation*, Water Research, 34, hal. 21-30.
- Manjunath, N. T., Mehrotra, I. dan Mathur, R. P., 2000, *Treatment of Wastewater from Slaughterhouse by DAF-UASB System*, Water Research, 34, hal. 1930-1936.

PENGARUH TINGGI REAKTOR FLOTASI UDARA TERLARUT

(Hery, Suprihanto, et.al)

- Metcalf & Eddy, 1988, *Wastewater Eng. Treatment, Disposal, Reuse*, 2<sup>nd</sup> ed., Mc. Graw Hill, New York.
- Moursy, A. S. dan Abo, S. E., 1982, *Treatment of Oily Refinery Wastes using A Dissolved Air Flotation Process*, Environment International, 7, hal. 267-270.
- Ponasse, M., Dupre, V., Aurelle, Y. dan Secq, A., 1998, *Bubble Formation by Water Release in Nozzles – I. Influence of Various Parameters on Bubble Size*, Water Research, 32, hal. 2498-2506.
- Roques, H. dan Aurelle, Y., 1991, *Oil-Water Separations Oil Recovery and Dupre, V., Oily Wastewater Treatment*, dalam buku *New Developments in Industrial Wastewater Treatment*, editor Turkman, A. dan Uslu, O., hal 155-174, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Rubinstein, J.B., 1995, *Column Flotation Processes, Design and Practice*, hal 105, Gordon and Breach Science Publishers, Moscow.
- Utomo, B., 1994, *Studi Penyisihan Minyak-Lemak Air Buangan Industri Minyak Kelapa Sawit dengan*
- Proses Flotasi Udara Terlarut*, Tesis Teknik Lingkungan ITB, Bandung